

Aus der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Johannes-Gutenberg-Universität in Mainz
Direktor: Professor Dr. Dr. M. Herrmann

DER EINFLUSS DES FLUORS AUF DIE PHYSIKALISCHEN EIGENSCHAFTEN DER ZAHNHARTSUBSTANZ

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Würde eines Doktors der Zahnheilkunde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Johannes-Gutenberg-Universität
zu Mainz

vorgelegt von
Zahnarzt DIETER BIBER
aus Laupheim (Württemberg)
1959



Aus der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Johannes-Gutenberg-Universität in Mainz
Direktor: Professor Dr. Dr. M. Herrmann

DER EINFLUSS DES FLUORS AUF DIE PHYSIKALISCHEN EIGENSCHAFTEN DER ZAHNHARTSUBSTANZ

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Würde eines Doktors der Zahnheilkunde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Johannes-Gutenberg-Universität
zu Mainz

vorgelegt von
Zahnarzt DIETER BIBER
aus Laupheim (Württemberg)
1959



Dekan: Prof. Dr. H. Leicher

Referent: Prof. Dr. Dr. M. Herrmann

Tag der mündlichen Prüfung: 6. Mai 1959

Datum des Diploms - 6. Mai 1959



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
1. Einleitung	2
2. Literatur	
a) Anatomie des Zahnsystems der Ratte	7
b) über die Wirksamkeit verschiedener Fluorverbindungen und Konzentrationen	11
c) Einfluß des F auf die chemische Zusammensetzung des Zahnes	12
d) Einfluß des F auf den Ca- und P-Stoffwechsel	13
e) pathologisch-anatomische Veränderungen der Zähne, hervorgerufen durch F.	14
3. Eigene Untersuchungen	
a) Versuchsanordnung	16
b) Härteprüfung	19
c) Zerreißprüfung	29
d) Ergebnisse des Wachstums bei Fluorverabreichung	34
e) makroskopische Veränderungen der Zähne bei Fluorverabreichung	37
f) Ergebnisse der Härteprüfung	40
g) Ergebnisse der Zerreißprüfung	53
h) Diskussion	55
4. Zusammenfassung	59
5. Literaturangaben	61

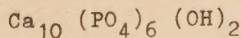
1. Einleitung

In den vergangenen Jahren sind verzweifelte Versuche unternommen worden, um eine wirksame Prophylaxe der Caries zu erzielen. Institute, Vereinigungen und Verbände wurden begründet, die sich mit dem Wesen und der Entstehung der Caries auseinandersetzen. Die Caries ist heute eine Volkskrankheit, man könnte beinahe Seuche sagen. Sie ist von großem hygienischen und wirtschaftlichen Interesse. Mit dem Fortschreiten der Zivilisation breitete sich auch die Caries aus. Diesen Zusammenhang konnte man vor ein paar Jahrzehnten in einigen Alpentälern der Schweiz und erst kürzlich wieder in Grönland beobachten. Es gibt eine Menge Theorien, die die Entstehung der Caries erklären wollen. Bis zum heutigen Tage hat sich die chemisch-parasitäre Theorie gehalten. Sie wurde von dem Zahnarzt Miller (Port-Euler, 27) schon 1882 aufgestellt. Natürlich erfuhr sie in der Zwischenzeit einige Modifikationen. Aus der Miller'schen Lehre kann man ersehen, daß zur Entstehung der Caries sowohl Bakterien als auch Kohlenhydrate unbedingt notwendig sind. Die Kohlenhydrate kann man nicht aus der Nahrung entfernen, man kann höchstens die Aufnahme etwas einschränken und die im Munde zurückbleibenden Reste beseitigen. Auch das wird nicht vollkommen möglich sein. Eine weitere Möglichkeit ist die direkte oder indirekte Bekämpfung der säurebildenden Mikroorganismen. Auf diesem Gebiet wurde schon allerhand versucht, leider mit nur wenig oder gar keinem Erfolg. Ich erinnere nur an die "antiseptisch" wirkenden Mundwässer. Die mit Antibiotica angestellten Versuche zeigten höchstens eine Störung des Gleichgewichtes der Mund- und Darmflora, aber keine Cariesreduktion. So mußten auch diese Versuche eingestellt werden. Wohl das charakteristische Kennzeichen der Caries ist die Entmineralisation. Dieser

Vorgang wird hervorgerufen durch die bei der Gärung von Kohlenhydraten entstehenden organischen Säuren, wie Milchsäure und die Brenztraubensäure. Zu den säureerzeugenden Mikroorganismen gehören vor allem die Lakto-Bazillen und Streptokokken, denen ein großer Anteil an diesem Prozeß zufällt. Nach P a l a z z i (26) spielt sich der Prozeß ab:

1. auf Grund einer mangelnden Speichelsekretion in qualitativer wie in quantitativer Hinsicht, ferner des Vorhandenseins von organischen Belägen, reich an Bakterien und fermentierenden Nahrungsresten;
wegen einer an Kohlenhydraten zu reichen Nahrung (Mehlspeisen und Zuckerwaren);
2. auf Grund schlechter Mundpflege;
3. eventuell mangels bisher unbekannter Faktoren im Speichel;
4. wegen pathologischer Tatsachen wie z.B. Hypoplasien, Stellungsanomalien und Bißanomalien usw.

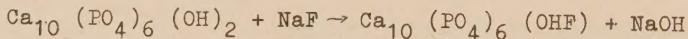
Der Schmelz, als die äußere Schutzschicht des Zahnes, wird immer zuerst angegriffen werden. Nach P r o e l l (28) u.a. besteht der Schmelz wie auch die übrigen Hartgewebe im wesentlichen aus Hydroxylapatit, der die folgende Formel besitzt:



Der Schmelz ist aus Schmelzprismen aufgebaut, die wiederum aus kleinen Kristalliten bestehen. K n a p p w o s t (16) zeigt, daß der Schmelz in seinem Aufbau heterogen ist, was sich für die mechanischen Eigenschaften als wertvoll, aber für chemische Einflüsse als sehr nachteilig auswirkt. Versuche gehen nun dahin, den Schmelz in seiner Struktur widerstandsfähiger zu machen. Eine mineralreiche und vitaminreiche Ernährung (C r e m e r , 5)

kann neben anderem zum Ziel führen.

In den Vereinigten Staaten wird seit Kriegsende durch Trinkwasserfluoridierung in einigen Städten Cariesprophylaxe im großen durchgeführt. Wie ist nun der Wirkungsmechanismus des Fluors? Man unterscheidet eine endogene Fluorthherapie, bei der dem in Bildung begriffenen Schmelz Fluorsalze zugeführt werden. Die exogene Fluorthherapie will eine Härtung des vollentwickelten Schmelzes erreichen. Über die carieshemmende Wirkung der Fluoride gibt es auch zwei Ansichten. Die eine Theorie (Eggers - Lura, 8) legt großes Gewicht auf die Hemmung der sauren Phosphatasen, die bei der Cariesentstehung eine Rolle spielen soll. Die andere Theorie (Knappwost, 16) stellt mehr die Herabsetzung der Löslichkeit des Hydroxylapatits durch Fluorionen in den Vordergrund. Beim Hydroxylapatit wird eine OH-Gruppe durch ein Fluorion isomorph ersetzt:



Kessler (15) sucht die Wirkung des Fluorions in der folgenden Zusammenstellung zu erklären:

1. Die Widerstandsfähigkeit des Schmelzes ist gegen Säureangriffe erhöht, wodurch der cariöse Prozeß langsamer verläuft;
2. Der Zahnschmelz wird gehärtet und somit widerstandsfähiger gegen mechanische Abnutzungen;
3. die Bakterien selbst sollen in ihrer Wirkung gehemmt werden;
4. die Fluorionen fördern die Speichelabsonderung und haben somit einen günstigen Einfluß auf Speichelmenge und Viskosität (vasodilatatorische Wirkung des Fluors).

Harn dt (11) weist allerdings darauf hin, daß eine Hemmung der Laktobazillen durch Fluorierung des Trinkwassers unwahrscheinlich ist. Er schreibt:

"Die Befunde können auch nicht überraschen, wenn man beachtet, daß eine wirksame Hemmung des Bakterienwachstums erst bei einer etwa 40fachen Konzentration der gebräuchlichen Fluorlösungen eintritt."

Die von amerikanischen Autoren angenommene Herabsetzung der Wirksamkeit der fermentativen Vorgänge ist ebenfalls sehr umstritten. Eine Hemmung dieser Vorgänge müßte dann bei allen Altersklassen zu beobachten sein auf Grund des Cariesrückganges, was aber nicht der Fall ist. Die amerikanischen Statistiken zeigen hauptsächlich einen Rückgang der Caries bei Kindern, der jedoch mit steigendem Alter immer mehr abnimmt, (H a r n d t , 11) .

Unklar ist immer noch die Verteilung des Fluors in der Hartsubstanz. Erwiesen ist, daß das im Trinkwasser enthaltene Fluor dem in Entwicklung begriffenen Schmelz über den Stoffwechsel zugeführt wird. F e l l e n b e r g (9) stellte fest, daß das Fluor in der Zahnhartsubstanz nicht gleichmäßig verteilt ist, wie man es annehmen möchte. M ü n c h (25) konnte diese Feststellung aufgrund seiner Schliffe beweisen . Er kommt zu dem Schluß, daß nicht allein der Gehalt an Fluor entscheidend sei, sondern auch die Verteilung des Spurenelementes im Schmelz. Und da ist wiederum die Konzentration in der äußeren Schicht bedeutungsvoll.

Einige Wissenschaftler deuten die Wirkung des Fluors als einen antirachitischen Effekt. K n a p p w o s t und S c h u b e r t (17) konnten im Tierversuch Vitamin D-ähnliche Wirkungen mit physiologischen Fluordosen hervorrufen.

Nach K a n t o r o w i c s (14)) ist es noch nicht bewiesen, ob ein so niedriger Cariesbefall, wie es in westdeutschland der

Fall ist, im Verhältnis zu Nordamerika, durch Fluorzufuhr eine weitere Reduktion erfährt.

Die Fluoridierung des Trinkwassers birgt auch Gefahren in sich. Bei übermäßiger Zufuhr von Fluor kann es zu folgenden Erscheinungen kommen (S c h m i d t , 32) :

1. Schädigung des Schmelzepithels;
2. Schädigung der Ameloblasten;
3. Schädigung der Odontoblasten; Körnelung des Dentins;
4. Pulpennekrose;
5. erhöhte Calciumausfällung, von der Remineralisation bis zur Demineralisation;
6. Hemmung der Enzyme.

Wie man aus der kurzen Zusammenstellung sehen kann, liegen die Dinge nicht einfach. Viel Mühe und Fleiß werden notwendig sein, um alle aufgetretenen Probleme zu lösen.

2. Literatur

a) Anatomie des Zahnsystems der Ratte

Die Ratte zählt zur Gruppe der Nagetiere. Das charakteristische an dieser Gruppe ist das Fehlen des Eckzahnes und der Prämolaren. Jede Kieferhälfte besteht aus einem Nagezahn und drei Molaren. Von besonderer Wichtigkeit ist, dass die Ratte keine Milchzähne hat. Die beiden Unterkieferhälften sind miteinander durch Bindegewebe verbunden, bilden also eine Syndesmore. Sie sind dadurch in geringem Masse gegeneinander beweglich. Die beiden Oberkieferhälften sind fest mit dem Schädel verbunden. Obere und untere Nagezähne sind gekrümmt. Die unteren Incisivi stellen einen kleinen Abschnitt aus einem grossen Kreise dar, während bei den oberen ein grösserer Abschnitt aus einem kleinen Kreise vorliegt. Ein grosser Teil der gesamten Zahnlänge ist von Knochen umgeben, und zwar ungefähr $\frac{2}{3}$ derselben. Man unterscheidet genau wie beim Menschen Schmelz, Dentin und Zement. An der konvexen labialen Seite sind die Schneidezähne mit Schmelz überzogen. Die durchschnittliche Stärke des Schmelzes beträgt ungefähr 100μ . Da das Dentin wesentlich leichter abgekaut wird, kommt es zu der charakteristischen Weissform der Nagezähne. Wie aus neueren Untersuchungen hervorgeht, ist nicht der Schmelz pigmentiert, sondern das Schmelzoberhäutchen. In einer Dicke von $8-12\mu$ überzieht das Schmelzoberhäutchen den Schmelz und verleiht ihm das gelb-orange Aussehen. Die oberen Incisivi weisen meistens eine stärkere Pigmentierung auf. Der ganze labiale Teil der Wurzel ist mit einem Häutchen versehen, welches das Schmelzorgan der permanent wachsenden Nagezähne darstellt. Der Begriff des permanent wachsenden Zahnes geht immer mit einem offenen foramen apicale einher. Die Molaren sind durch ein weites Diastema von den Nage-

... sind ebenfalls von einem Schmelzoberhäutchen
bedeckt, das aber keine Pigmentierung besitzt. Die folgende Tabe-
le nach J. B ü t t n e r (4) und F. R o z e i k (30) gib-
t eine Zusammenfassung der makroskopischen Anatomie des Rattenge-
bisses.

Macroscopische Anatomie des Rattengebisses.

	Zahl der Zähne OK UK	Zahl der Höcker pro Zahn u. ihre Verteilung	Zahl der Fissuren pro Zahn	Zahl der Wurzeln pro Zahn	Durchbruch Tage nach der Geburt	Bemerkung
Kege Zahn	2 2	-	-	1	9 - 10	offene Wurzel (permanentes Wachstum)
I oberer Molar	2 -	5 3 buccal + 2 palatinal	2	5	18	x nach abgeschl. Wachstum keine offene Wurzel
I unterer Molar	- 2	6 4 buccal + 2 lingual	3	4	17	"
II oberer Molar	2 -	4 2 buccal + 2 palatinal	2	4	22	"
II unterer Molar	- 2	3 2 palatinal + 1 buccal	2	3	21	"
III oberer Molar	2 -	3 2 mesial + 1 distal	2	3	38	"
III unterer Molar	- 2		1	3	29	"

x = mit dem abgechl. Wachstum der Wurzel wird ein foramen apicale gebildet, Meizentren sind dann nicht mehr zu finden.

Zur Erzeugung der experimentellen Caries hat sich die Albino-Ratte (*Mus norvegicus albinus*) als das geeignete Versuchstier erwiesen. R o z e i k (30) zählt folgende Vorteile auf:

1. "Wegen der Natur ihrer Zähne und ihrer Widerstandskraft;"
2. "Wegen ihrer schnellen und zahlreichen Vermehrung und ihrer relativ schnellen Anpassung an die cariogene Kost, die außerdem nicht kostspielig ist;"
3. "Die Rattenmolaren bleiben nicht lange im Wachstum begriffen, im Gegensatz zu den Incisivi der Nagetiere, die eine sog. offene Wurzel haben oder im Gegensatz zu Meerschweinchen und Kaninchen, deren Molaren auch offene Wurzeln haben und deshalb permanentes Wachstum aufweisen."

b) Über die Wirksamkeit verschiedener Fluorkonzentrationen und -verbindungen.

Die Grenzkonzentration von NaF soll bei Ratten zwischen 110 und 190 ppm liegen (K. L a n g , 18). Ein amerikanischer Autor (M i l l e r , 23) gibt eine Dosis bis zu 250 ppm als optimal für Cariesprophylaxe an. In diesem Bereich erzielt man die beste carieshemmende Wirkung. Wenn man über diese Grenze hinausgeht, kommt man in den toxischen Bereich. Die in diesen Versuchen verwendeten Konzentrationen liegen bereits im toxischen Bereich. Allerdings sind 0,05 % NaF noch nicht in der Lage, die allgemeine Gesundheit des Tieres zu beeinflussen. 0,2 % NaF führen innerhalb weniger Wochen zum Tod der Ratten. Nach S c h u l z (35) wird die Toxizität des Natriumfluorids betont durch einen niederen Prozentsatz an Calcium, die aber durch die Gegenwart hoher Calciumkonzentrationen im Futter gemildert wird. Lebertran im Futter hatte eine Milderung der Fluorose zur Folge. Es ist auch nicht gleichgültig, welche Fluorverbindungen benützt werden. Aufschluß darüber geben die Untersuchungen von Z i p k i n und M c C l u r e (39). Sie gaben den Ratten NaF, Na_2SiF_6 , $\text{Na}_2\text{PO}_3\text{F}$, KPF_6 und CF_3COONa im Trinkwasser in einer Menge, daß es jedesmal 50 ppm F waren. Einer anderen Gruppe wurden dieselben Mengen intraperitoneal injiziert. Nach 90 Tagen sah man ein ausgesprochenes "mottling" bei Ratten, die NaF, Na_2SiF_6 und $\text{Na}_2\text{PO}_3\text{F}$ im Trinkwasser oder intraperitoneal erhalten hatten. Diejenigen, die KPF_6 oder CF_3COONa bekommen hatten, zeigten kein "mottling" und auch keine carieshemmende Wirkung. Daraus kann man schließen, daß bestimmte komplexe Fluoride im Magen-Darmtrakt nicht oder wenig resorbiert werden. Ferner ist es interessant zu erfahren, daß es eine Staffe-

lung der Toxizität unabhängig von der Fluorkonzentration gibt. Die Tiere mit einer täglichen Fluoraufnahme von 0,05 % in Wasser waren am schwersten, dagegen diejenigen mit 0,05 % Fluor in trockener Diät am wenigsten betroffen wurden. Die Toxizität nahm also in der Reihenfolge trockene Diät, evaporierte Milch und Wasser zu. (H o f f m a n n , S c h u c k , u n d F u r u t a , 13).

c) Einfluß des Fluors auf die chemische
Zusammensetzung der Zähne.

Es ist eine längst bekannte Tatsache, daß mit der Verfütterung von Fluoriden gleichzeitig eine Zunahme des Fluorgehaltes von Zähnen und Knochen einhergeht, und somit Veränderungen in der Zahnstruktur und -zusammensetzung. S m i t h u n d ' L a n t z (36) stellten chemische Untersuchungen der Nagezähne von Ratten an, die 0,05 und 0,1 % NaF erhalten hatten. Sie fanden keinen bedeutenden Unterschied zwischen der Zusammensetzung der Zähne der Kontrolltiere und jener Tiere, die 0,05 % NaF erhalten hatten. Sobald jedoch mehr als 0,1 % des Futters aus NaF bestand, enthielten die Zähne weniger Asche, dafür aber einen größeren Prozentsatz an Calcium, weniger Phosphor und ein höheres Calcium-Phosphorverhältnis. Der verminderte Aschegehalt spricht für ein geringes Vorhandensein von Mineralien. Das Fluor ersetzt nach Ansicht der beiden Forscher das Carbonat-Radikal unter Bildung eines Fluorapatits. Das Ausmaß der Ersetzung variiert mit der Fluorkonzentration im Futter. Solch eine einfache Ersetzung würde den Prozentsatz des Calciums oder Phosphors in größerem Ausmaße nicht ändern und der Calcium- und Phosphorgehalt würde unverändert bleiben.

So erklären sich diese Forscher die Ähnlichkeit des Calcium- und Phosphorgehaltés der Kontrolltiere mit den entsprechenden Werten bei den Tieren, die den niederen NaF-Gehalt verfüttert bekamen. Die Ablagerung einer größeren Menge von CaF_2 in Zähnen oder Knochen als freies CaF_2 oder in Sättigung mit Ca-Phosphat würde eine Vermehrung des Calcium-Gehaltes und ein größeres Calcium-Verhältnis verglichen mit Phosphor ergeben. Die durch chemische Analysen der Zähne erhaltenen Ergebnisse sind den errechneten Verhältnissen der theoretischen Verbindung $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{CaF}_2$ bemerkenswert ähnlich (normale Hartschubstanz: $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaCO}_3$).

d) Einfluß des Fluors auf den Calcium- und Phosphorstoffwechsel.

L a w r e n z (20) und Mitarbeiter fanden, daß heranwachsende Ratten sich an fortgesetzte Einnahme niedriger Mengen Fluors gewöhnten, indem immer größere Anteile des eingenommenen Fluors im Faeces und Urin ausgeschieden wurden. Daraus kann man schließen, daß weniger Fluor durch das wachsende Skelett und die Zahnhartsubstanzen zurückgehalten werden. Sie bemerkten weiterhin, daß die Fluorausscheidung einen Höchstwert erreichte. Daraus kann man folgern, daß eine stabilisierte Fluorkonzentration im verkalkten Gewebe und eine Reduktion seiner Kapazität für Fluorspeicherung vorliegt. Auch die Ergebnisse der Versuche von Z i p k i n und M c C l u r e (39) lassen erkennen, daß die heranwachsende Ratte eine verminderte Fähigkeit zeigt, Fluor in Knochen und Zähnen mit fortschreitendem Alter zu speichern, und daß sie nach einer Periode rapiden Wachstums wenig oder kein zusätzliches Fluor mehr

speichert. Auch an ausgewachsenen Ratten sah man, je älter sie wurden, eine abnehmende Kapazität in den Zähnen und im Skelett Fluor zu speichern. L a n t z und S m i t h (19) berichteten über heranwachsende Ratten, deren Diät 0,1 % NaF enthielt, daß sie viel weniger Calcium und weniger Phosphor zurückhielten als die Kontrolltiere. Mit dem Alterwerden der Versuchstiere war der Unterschied nicht mehr so ausgeprägt. Bei den im Wachstum zurückgebliebenen Fluortieren war die Verkalkungsperiode auf einen längeren Zeitabschnitt ausgedehnt. Ferner wurde bemerkt, daß die Fluortiere mehr Calcium im Verhältnis zu Phosphor ausschieden. Das Fluor wirkt wahrscheinlich auf den Stoffwechsel von Calcium und Phosphor ein, indem es die unlösliche Verbindung CaF_2 bildet.

e) Pathologisch-anatomische Veränderungen der Zähne, hervorgerufen durch Fluor.

Fluor, in toxischen Dosen zugeführt, bewirkt eine Störung des Verkalkungsprozesses an Schmelz, Dentin und Knochen. Da der Schmelz das Gewebe mit dem größten Kalkreichtum darstellt, ist es nicht verwunderlich, wenn er während der Entwicklung am meisten darunter leidet. Klar beantwortet ist noch nicht, ob bei chronischer Fluorvergiftung der fertiggebildete Schmelz betroffen wird. Man vermutet, daß das Fluor eine direkte, lokale Wirkung auf die schmelzbildenden Zellen ausübt, und daß die Veränderungen, die an Schmelz und Dentin beobachtet werden, nicht primär durch Veränderungen im Blutkalk und Phosphor entstanden sind. Ratten, die 0,05 % NaF in Wasser erhalten hatten, boten folgendes histologische Bild (H o f f m a n n , S c h u c k und F u r u t a , 13) :

Beim Nagezahn zeigte die größere Anzahl der Ameloblasten im basalen

Drittel degenerative Veränderungen. Das Dentin war spärlich verkalkt und besaß starkes Globulargewebe. Die Anlagerungsstreifen waren ausgeprägt. Das Prädentin war abnorm stark, ungefähr $2 \frac{1}{2}$ mal stärker als bei Vergleichstieren. Große, bläschenähnliche Räume, umgeben von Zellkonzentrationen des Pulpengewebes, fanden sich in der Pulpa. Schwere Globulation des Dentins sah man an den Molaren. Das Prädentin war merklich irregulär. Im coronalen Bezirk der Pulpa schienen die Odontoblasten zu degenerieren. Eine stärkere Vergrößerung dieses Gebietes zeigte die Auflösung des Zytoplasmas mit Bildung zahlreicher, kleiner Vakuolen. Die Kerne waren pyknotisch. An den Wurzeln der Molaren fand man excessives Zementoid. Ferner kam es zu einem verzögerten Durchbruch der Molaren. Der alveoläre Knochen der Incisivi und Molaren besaß eine übermäßige Menge von Osteoid.

Aus den Untersuchungen verschiedener anderer Autoren geht hervor, daß das Fluor bei unterschiedlicher Dosierung sowohl osteosklerotische als auch osteomalazieähnliche Prozesse bewirken kann. Weiter wurde beobachtet, daß die regressiven Vorgänge, hervorgerufen durch toxische Fluordosen, bei älteren Tieren nicht das Ausmaß annehmen, wie bei jüngeren.

3. Eigene Untersuchungen:

Mit Hilfe eines mechanischen Meßverfahrens sollen Zähne von den die bestimmte Fluordosen erhalten hatten, genau untersucht werden.

Die Untersuchung soll sich vor allem auf die Härte und die Elastizität der Zähne erstrecken. Für die Härteprüfung der Zahnhartsubstanz fand ich ein sehr geeignetes Instrument, nämlich das dem V i c k e r s - Verfahren arbeitenden Mikrohärteprüfgerät "Durimet" der Firma Leitz. Wegen der geringen Größe der Ratte war es schwierig, eine geeignete Apparatur für die Elastizitätsprüfung zu finden. Eine Hebelpresse schien mir geeignet, eine Zerreiß- aber nicht eine Elastizitätsprüfung durchzuführen.

a) Versuchsanordnung:

Es wurden zwei Versuchsreihen gebildet mit je drei Gruppen von Versuchstieren.

Die erste Versuchsreihe besteht aus der Gruppe I mit 15 Tieren, der Gruppe II mit 16 Tieren und der Gruppe III mit 14 Tieren. Alle Tiere der ersten Versuchsreihe waren 2 Monate alt, ehe sie in den Versuch genommen wurden.

Gruppe I erhielt das Grundfutter (normale Kost nach S h a a) und war 110 Tage im Versuch und diente als Kontrolle.

Gruppe II erhielt das Grundfutter, zusätzlich 500 ppm NaF und war 117 Tage im Versuch.

Gruppe III erhielt das Grundfutter, zusätzlich 1 000 ppm NaF und war 117 Tage im Versuch.

500 ppm NaF entsprechen 50 mg NaF in 100 g Futter oder 22,6 mg F.

1 000 ppm NaF entsprechen 100 mg NaF in 100 g Futter oder 45,2 mg F.

Die zweite Versuchsreihe besteht aus der Gruppe Ia mit 14 Tieren, der Gruppe IIa mit 14 Tieren und der Gruppe IIIa mit 15 Tieren. Die drei Gruppen der zweiten Versuchsreihe sind die erste Generation der entsprechenden Gruppen der ersten Versuchsreihe.

Gruppe Ia erhielt das Grundfutter (normale Kost nach S h a w), war 117 Tage im Versuch und diente als Kontrolle.

Gruppe IIa erhielt das Grundfutter, zusätzlich 500 ppm NaF und war 117 Tage im Versuch.

Gruppe IIIa erhielt das Grundfutter, zusätzlich 1 000 ppm NaF und war 117 Tage im Versuch.

Die Gruppen II und III erhielten Fluor postnatal und nachdem sie bereits zwei Monate alt waren. Die Gruppen IIa und IIIa erhielten Fluor dagegen schon praenatal, da die Placenta ja keine Schranke für das Fluor darstellt⁺). Die Gruppen IIa und IIIa erhielten ferner Fluor während der Laktation und danach im Futter.

+) Fußnote:

Die l d (12) hat bewiesen, daß der Fluordurchtritt durch die Placenta möglich ist. Er nahm eine Blutprobe von der Mutter und eine aus der Nabelschnur, die ja zum fetalen Kreislauf gerechnet wird. Dabei fand er, daß die Placenta das Fluor durchtreten läßt. Höhere Fluorwerte im Mutterblut entsprachen auch höheren Werten im fetalen Blut.

Die normale Kost nach S h a w modifiziert nach H e r r m a n n und R o z e i k hat folgende Zusammensetzung:

Casein	30 %	Die Salze bestehen aus:	
Zucker	16 %	CaCO ₃	12,5 %
Mondamin	20 %	K ₂ HPO ₄	19,5 %
Schmalz	11 %	CaHPO ₄	28,2 %
Leinöl	5 %	MgSO ₄	4,2 %
Salze	4 %		
Leber	4 %	NaCl	27,8 %
Zellulose	10 %	KCl	4,8 %
Vitamine		Eisenzitrat	2,3 %
		KJ	0,07 %
		MnSO ₄ · H ₂ O	0,4 %
		ZnCl ₂	0,2 %
		CuSO ₄	0,1 %
		CaCl ₂	0,8 mg %

wasserfrei

wasserfrei

Folgende Vitamine wurden zu je 100 g Futter zugesetzt:

wasserlösliche Vitamine		fettlösliche Vitamine	
Vitamin B ₁	2,5 mg	Vitamin K	0,5 mg
Vitamin B ₂	1,0 mg	Vitamin A	500 IE
Nikotinsäureamid	10,0 mg	Vitamin D ₂	10 IE
Ca- Panthotensäure	1,5 mg	Vitamin E	5,0 mg
Vitamin B ₆	1,0 mg		
Cholin	100 mg		
Inosit	100 mg		
p-Aminobenzoesäure	30,0 mg		

Ich erhielt die einzelnen Gruppen der zwei Versuchsreihen zur Untersuchung, ohne zu wissen, welche Gruppe Fluor und welche kein Fluor erhalten hatte. Ferner wußte ich nicht, in welcher Menge und in welcher Form an die Tiere Fluor verfüttert wurde. Erst nachdem alle Ratten untersucht waren, erfuhr ich, welche Gruppe Fluor im Futter erhalten hatte. Mir wurde jeweils eine Gruppe von Ratten übergeben, die ich dann mit Chloroform tötete. Danach präparierte ich den Ober- und Unterkiefer frei, brachte sie in ein Fläschchen mit Formalin und versah dies mit einer Nummer. Vorher wurde jedes Tier gewogen. Es wurde auch stark darauf geachtet, daß jede Gruppe den gleichen äußeren Bedingungen ausgesetzt war.

b) Härteprüfung

Mit Hilfe des Kleinhärteprüfers "Durimet" soll in dieser Arbeit die Härte der Nagezähne und Molaren von Ratten, die bestimmte Fluordosen erhalten hatten, ermittelt werden. Dieser Kleinhärteprüfer "Durimet" ist von der Firma L e i t z (21) Wetzlar, entwickelt worden. Eine regelmäßige, 4seitige Diamantpyramide mit einem Flächenöffnungswinkel von 136° dient als Druckspitze. Das Verhältnis der Belastung zur Oberfläche des bleibenden Eindrucks ergibt das Härtemaß. Von dem erzeugten Eindruck werden die beiden Diagonalen gemessen und der Mittelwert gebildet. Die Härte nach V i c k e r s kann dann nach folgender Formel errechnet werden:

$$HV = \frac{1854 \cdot P}{d^2}$$

HV = Vickershärte in kg/mm

P = Prüfkraft in Gramm

d = Länge der Eindrucksdiagonalen
in Mikron (1 Mikron = 0,001 mm)

Außer der Härteprüfung nach V i c k e r s gibt es noch mehrere andere Verfahren. Eine der ältesten Härteprüfungen ist die nach M o h s . Am häufigsten werden die Verfahren nach B r i n e l l und R o c k w e l l angewendet. Beim Brinell-Verfahren drückt man genormte Stahlkugeln stoßfrei in das zu prüfende Objekt. Von der Prüflast und dem Kugeldurchmesser ist die Größe des entstehenden Eindrucks abhängig. Für höhere Härtegrade ist das Rockwell-Verfahren geeigneter, bei dem eine Diamantspitze in den Prüfstoff gepreßt wird. Der bekannte Berliner Pathologe R ö s s l e schuf eine Kugeldruckmethode zur Knochenprüfung. P r o e l l (28) verdanken wir ebenfalls einige Neuerungen auf diesem Gebiete, die hauptsächlich für die Zahnheilkunde bedeutungsvoll waren. Nun am Schluß noch eine Definition der Härte: "Unter Härte versteht man den Widerstand eines festen Körpers gegenüber dem Eindringen eines anderen festen Körpers."

Der Aufbau des Gerätes

Der Kleinhärteprüfer "Durimet" besteht aus einem Stativ mit einem Meßtisch, dem Mikroskop und dem Härteprüfer. Der Meßtisch kann mittels zweier Feinmeßspindeln mit einem Meßbereich von je 25 mm in den zwei möglichen Richtungen bewegt werden. Um das zu prüfende Objekt genau senkrecht zur Druckrichtung einstellen zu können, steht ein Objektschraubstock, der um zwei Achsen neigbar ist, zur Verfügung. Das Mikroskop und der Härteprüfer sind mit einem Klemmhebel an der Säule befestigt. Die Säule ist mit einem Steilgewinde versehen, in dem eine Rändelmutter läuft. Dadurch wird eine Höhenverstellung des Durimet-Oberteils bis zu 150 mm möglich. Ferner kann das Mikroskop durch einen Triebknopf bis zu 40 mm, und durch eine Feineinstellung bis zu 14 mm bewegt werden.

Der optische Teil des Gerätes besteht aus einem Feinmeßokular, einem Suchobjektiv und einem Meßobjektiv. Das Feinmeßokular besitzt eine 10fache Vergrößerung. Nach Lösen einer Klemmschraube kann das Okular um seine Achse gedreht werden. Um das Arbeiten zu erleichtern, ist das Okular um 45° nach vorn geneigt. Zwei Einstellknöpfe dienen zur Längs- bzw. zur Querverschiebung des Okulars. Eine weitere Einstellschraube ist für die Teilung des Feinmeßokulars angebracht. Das Suchobjektiv (10fache Vergrößerung), das Meßobjektiv (40fache Vergrößerung) und der Härteprüfer dazwischen befinden sich an einer schwenkbaren Scheibe. Eine Rastfeder ermöglicht das wechseln von Diamanten, Übersichts- und Einstellobjektiv. Das Suchobjektiv gewährt bei 100facher Vergrößerung einen Sehfelddurchmesser von 1,8 mm und das Meßobjektiv einen solchen von 0,45 mm. Eine abnehmbare Glühlampe von 8 Volt und 0,6 Ampère spendet das Licht.

Das Ausmessen der gesetzten Eindrücke erfolgt mit dem Feinmeßokular, dessen Skalen im Sehfeld angeordnet sind (Einstellskala und Meßskala). Die Einstellskala besteht aus einem Fadenkreuz mit neun waagrechten, parallelen Strichen, die jeweils 25 μ Abstand voneinander haben. Die Meßskala ist in Teilstriche bis zu 0,5 μ eingeteilt, so daß noch Werte bis 0,1 μ geschätzt werden können. Vor jeder Reihenprüfung empfiehlt es sich, zuerst einen Probееindruck zu machen, dann die Mitte des Fadenkreuzes (Kreuzungspunkt des 75 μ -Striches mit dem Vertikalstrich) durch Drehen der beiden Rändelknöpfe auf die Mitte des Eindrucks einzustellen. Nun kann man jede beliebige Stelle mit einer Treffsicherheit von 2-3 μ prüfen. Wie ein Eindruck ausgemessen wird, ist aus der untenstehenden Abbildung zu ersehen. Der Härteprüfer besteht aus einem vierseiti-

gen, pyramidenförmigen Diamanten, der den Eindruck erzeugt, so einem Lasthebel, der auf Stahlspitzen gelagert ist. Ein Rändelknopf mit biegsamer Welle wird zum Anheben des Eindringkörpers benutzt. Je nachdem man einen oberflächlichen oder tiefen Eindruck haben möchte, legt man ein kleines oder größeres Prüfgewicht auf den Auflageteller. Sobald der Drahtauslöser betätigt wird, schaltet sich eine Ölbremse ein, die bewirkt, daß der Eindringkörper nur ganz langsam auf dem Prüfstück aufsetzt. Im Augenblick der vollen Belastung schaltet sich die Bremsvorrichtung automatisch ab. Der Eindringkörper ist federnd gelagert, wie aus der folgenden Abbildung ersichtlich ist. Somit kann ein eventuell auftretender Schub ausgeglichen werden. Durch Drehen des Rändelknopfes wird der Eindringkörper wieder hochgehoben. Die Einwirkung des Diamanten auf das Prüfstück beträgt zwischen 15 und 20 Sekunden.

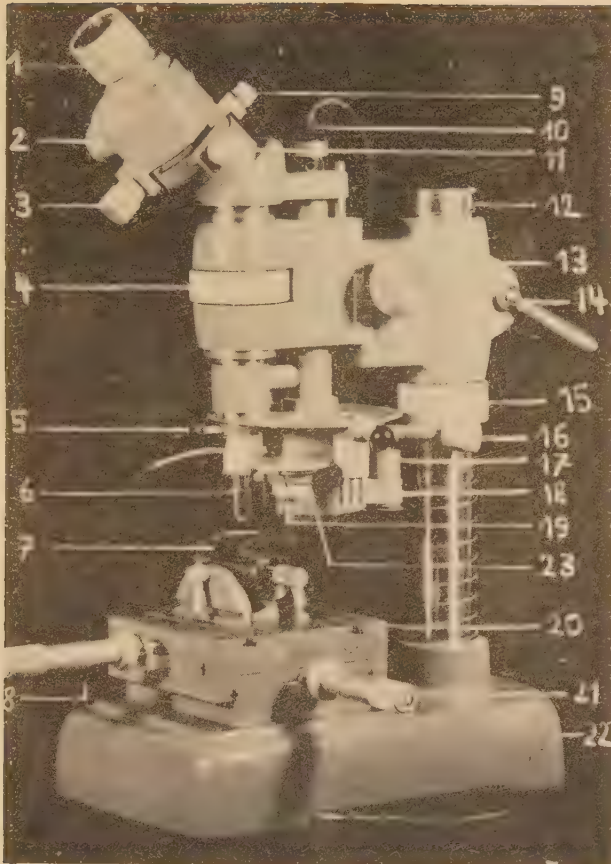


Abb. 1

Mikrohärteprüfer "Durimet"

- | | |
|---------------------------------------|------------------------|
| 1. Feinmeßokular | 12. Säule |
| 2. Meßschraube | 13. Triebknopf |
| 3. Einstellknopf | 14. Klemmhebel |
| 4. Feineinteilung | 15. Rändelmutter |
| 5. Hebel zum Schwenken der
Scheibe | 16. Rändelknopf |
| 6. Meßobjektiv | 17. Ölbremse |
| 7. Objektschraubstock | 18. Suchobjektiv |
| 8. Drahtauslöser | 19. Prüfdiamant |
| 9. Klemmschraube | 20. Objektstisch |
| 10. Glühlampe | 21. Mikrometerschraube |
| 11. Einstellknopf | 22. Stativ |
| | 23. Auflageteller |

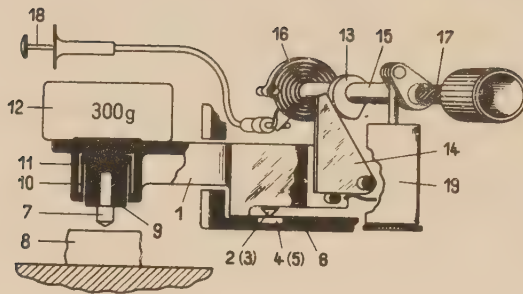


Abb. 2

Schema der Eindringvorrichtung (n. B l u m e , 1)

- | | |
|-------------------------|--------------------|
| 1. Lasthebel | 11. Schutzfassung |
| 2. (3) Stahlspitze | 12. Gewicht |
| 4. (5) Hartmetallplatte | 13. Kurve |
| 6. Blattfeder | 14. Zwischenhebel |
| 7. Eindringkörper | 15. Kurvenwelle |
| 8. Objekt | 16. Feder |
| 9. Halterung | 17. biegsame Welle |
| 10. Stahldrähte | 18. Drahtauslöser |
| | 19. Ölbremse |

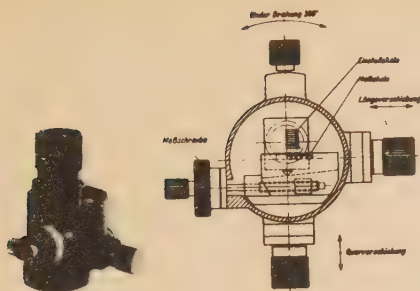


Abb. 3

Schematische Zeichnung des Feinmeßokulars (n. B l u m e , 1)

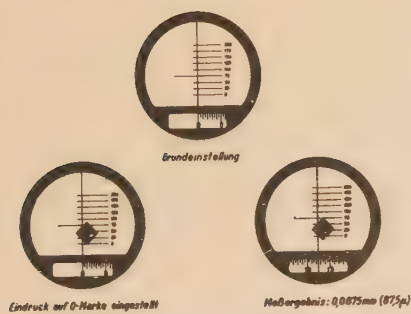


Abb. 4

Ausmessen eines gesetzten Eindrucks (n. L e i t z , 21)

Durchführung der Härteprüfung:

Der zu untersuchende Gegenstand muß fest auf der Unterlage aufliegen, da man sonst zu große Eindrücke erhält und somit viele kleine Härtewerte. Ferner muß die Prüffläche senkrecht zur Druckrichtung sein. Ich verwendete für meine Untersuchungen den Objektverschraubstock nach **L e i t z**, der um zwei Achsen neigbar ist. Dadurch kann man ohne weiteres beim Einbetten entstehende Unregelmäßigkeiten ausgleichen. Das Einbetten der Rattenzähne erfolgte in einem schnell härtenden Kunststoff (Palavit). Daraufhin wurden die Proben mit einem Polierpulver (Siliciumcarbid; grob, mittel und fein) und einer Glasplatte planparallel geschliffen. Mit Schleifstein wurden die Proben weiter behandelt und erhielten mit Schmirgelpulver ihren endgültigen Hochglanz. Das Schleifen und Polieren der Zähne geschah selbstverständlich nur unter Wasserzusatz, um jede Erwärmung auszuschalten. Genaue und scharfe Eindrücke erhält man nur, wenn die Prüfobjekte ganz sorgfältig poliert werden. Während der einzelnen Arbeitsgänge wurden die Zähne mikroskopisch untersucht, um die unvermeidlich sich einschleichenden Polierfehler frühzeitig zu erkennen. Da der Kunststoff durch den Poliervorgang eine stark reflektierende Oberfläche erhält, ist es schwierig, die erzeugten Eindrücke kontrastreich zu gestalten. Wenn man die Lampe etwas aus dem Lampenschacht herauszieht, erscheinen die Eindrücke sofort kontrastreicher. Auch das richtige Einstellen der Skalenstriche an den Eindrucksdiagonalen muß man beachten, sonst können sich Fehler bis 0,5 μ einstellen. Beim richtigen Einstellen muß ein Skalenstrich gerade das eine Ende der Eindrucksdiagonalen berühren, und die Strichdicke des einen Skalenstriches muß durch das andere Ende der Eindrucksdiagonalen eliminiert werden. Erschütterungen, die während des Eindringens des Diamanten in das

Prüfstück auftreten, ergeben zu kleine Härtewerte, da der Eindruck vergrößert wird. Bei kleinen Belastungsgewichten wird nur die Härte der Oberfläche gemessen. Um das Innere zu messen, muß man mit hohen Belastungsgewichten arbeiten. Da die Oberfläche durch Schleifen und Polieren eine Änderung erfahren hat, ist es verständlich, daß die HV-Werte kleiner Prüfkraft nicht mit denen großer Prüfkraft übereinzustimmen brauchen. Für meine Versuche fand ich das Prüfungsgewicht von 50 g am geeignetsten. Ich habe das in einer Menge von Vorversuchen an Rattennagezähnen festgestellt. Damit das abgelesene Meßergebnis richtig ist, muß wenigstens eine halbe Diagonale des Eindrucks nach jeder Seite hin unversehrte Fläche sein. Mindestens die zehnfache Eindringtiefe des Diamanten muß das zu prüfende Objekt stark sein, um ein genaues Meßergebnis zu erhalten. Falls alle Vorschriften bei der Durchführung der Messung beachtet werden, können sich Fehler bis zu $\pm 4\%$ bei Eindrucksdiagonalen von 10 μ bis zu $\pm 2 - 3\%$ bei Eindrucksdiagonalen oberhalb 25 μ einstellen. Aus dem Auflösungsvermögen der Optik und aus dem davon abhängigen kleinsten Einstellfehler ergibt sich die Meßgenauigkeit. Wie man hieraus sehen kann, verringert sich mit zunehmender Größe der Diagonalen der Einfluß des Ablesefehlers.

Die Härteprüfung wurde an den oberen Nagezähnen und an den oberen ersten Molaren ausgeführt. Um die Sache übersichtlich zu gestalten, verwende ich schematische Zeichnungen der oberen Incisivi und Molaren, in die ich die Punkte eintrage, wo die Härteprüfung durchgeführt wurde. Beim Nagezahn prüfte ich an 10 verschiedenen Stellen (siehe Abbildung 6): Den Schmelz an der Nagezahnspitze, ungefähr in der Mitte und kurz vor dem Erreichen der Alveole.

Das Dentin prüfte ich an 7 Stellen (siehe Abbildung 6): An der Nagezahnspitze, ungefähr an der Schmelz-Dentin-Grenze in der Mitte des Zahnes und ebenfalls wie den Schmelz kurz vor dem Einmünden in die Alveole, ferner an 2 Stellen in der Nähe der Pulp und an 2 Stellen der palatinalen, schmelzlosen Seite. Der erste Molar wurde an 8 verschiedenen Stellen geprüft: Der Schmelz mesial, buccal, distal und palatinal; das Dentin, von der Schmelz-Dentin-Grenze etwas abgerückt, ebenfalls mesial, buccal, distal und palatinal. Die Stellen, die für die Härteprüfung beschrieben wurden, konnten größtenteils ohne Schwierigkeit immer wieder gefunden werden. Daß sie natürlich nicht mathematisch genau zu bestimmen war ist verständlich, da ja nicht jeder Zahn dem anderen in der Form gleicht. Die neben den Prüfstellen aufgezeichneten Zahlen stellen nicht den Härtewert dar, sondern die Länge der Eindrucksdiagonale. Hinter jedem Wert müßte also das Längenmaß M gesetzt werden. Die Härte nach Vickers kann dann nach der Formel, die bei Beschreibung des Härteprüfers "Durimet" (Seite 19) angegeben ist, ausgerechnet werden. Ich habe die Ausrechnung der Härtewerte absichtlich unterlassen, da dies für vorliegende Arbeit ohne Bedeutung wäre. Die Werte der Eindrucksdiagonalen genügen vollkommen und lassen die gleichen Schlüsse zu. Aus den Meßwerten sämtlicher Zähne einer Gruppe wurde der Durchschnittswert errechnet und anschließend die statistische Abweichung. So kann man dann die Werte der verschiedenen Gruppen miteinander vergleichen. Zum besseren Verständnis möchte ich ein kleines Beispiel anführen:

An der Schmelzspitze des Nagezahnes der Gruppe I (siehe Abbildung 6) liest man den Wert $18,4 \pm 0,4$ ab. Das bedeutet, daß die Eindrucksdiagonale des gesetzten Eindruckes $18,4 M$ lang ist, und zwar

bei allen Nagezähnen der Gruppe I mit einer Abweichung bis zu 0,4 *M* .

Bei den Nagezähnen der Gruppe III und Gruppe IIIa war es mir leider nicht möglich, den Härtewert des Schmelzes zu bestimmen. Die Defekte am Schmelz waren so stark, daß die restlichen Schmelzinseln während des Beschleifungsprozesses abgebröckelt sind. Auch bei Gruppe II war es zum Teil schwierig, genaue Werte zu erzielen.

c) Zerreißprüfung

Die Zerreißprüfung der Rattenzähne wurde mit der Hebelpresse nach Voigt (37) vorgenommen. Sie wurde von E. Sauer (31) modifiziert, der eine geeignete Haltevorrichtung dazu konstruierte.

Beschreibung der Apparatur:

Die Voigt'sch Hebelpresse besteht aus dem Rahmenbau, dem Hebelarm, dem Druckbolzen und einem Widerlager für den Hebel. Der Hebel gestattet eine Übersetzung 1 : 5 bis 1 : 15 . Die auf den Hebelarm wirkende Kraft wird auf den Druckbolzen übertragen, in den eine Stahlkugel eingelassen ist. Falls die Kraftübertragung nicht genau vor sich geht, bewirkt diese Stahlkugel einen Ausgleich. In den Druckbolzen ist von unten her ein Stift eingeführt, der kurz vor der Spitze eine Nocke für den Wegmesser besitzt. Das Widerlager des Hebelarmes ist eine Schraube mit Kontermutter, die es ermöglicht, daß der Hebel immer in der Waagrechten gehalten werden kann. Die Haltvorrichtung besteht aus einer Grundplatte, einem Unterteil und einem Oberteil. In die Grundplatte sind 4 Stellschrauben eingelassen, mit denen eine Nivellierung des Halteapparates innerhalb der Hebelpresse möglich ist. Unterteil und

Grundplatte sind starr miteinander verbunden. Durch Oberteil, Unterteil und Grundplatte geht eine Spannschraube mit Feststelmutter. Zwei weitere kleine Schrauben dienen als Führung für das Oberteil. Der zu prüfende Gegenstand kann dann zwischen Oberteil und Unterteil eingespannt werden. Zwischen Führungsleiste, Unterteil und Grundplatte ist eine Halteschiene verschiebbar. Mit drei Messingschrauben in der Führungsleiste kann man die Halteschiene fixieren. An einem Rundstab, der fest mit der Halteschiene verbunden ist, hat man die Wegmesseruhr angebracht. Die Wegmesseruhr ist auf 1/100 mm geeicht. Ein Meßhebel aus Messing mit festeingelassener Achse verbindet die Meßuhr mit dem Stift des Druckbolzens. Die Achse des Meßhebels, der eine Übersetzung 1 : 10 besitzt, findet ihr Widerlager in einem Achsenträger. Der Achsenträger ist mit einem Trägerarm verbunden, der durch eine Schraube und ein Zwischenblättchen in jeder erforderlichen Stellung fixiert werden kann.

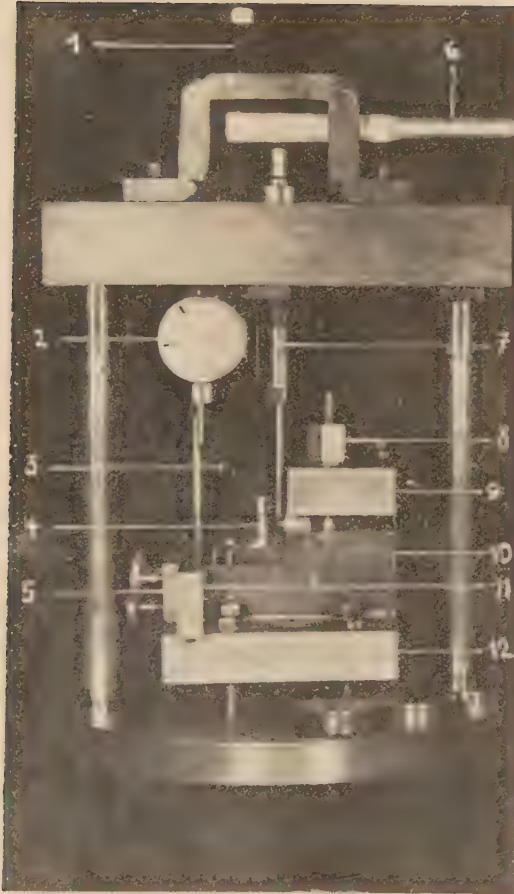


Abb. 6

Voigt'sche Hebelpresse, modifiziert nach Sauer

- | | |
|---|---|
| 1. Widerlager (Schraube mit Kontermutter) | 7. Druckbolzen mit Stift |
| 2. Wegmesseruhr | 8. Spannschraube mit Feststellmutter |
| 3. Meßhebel | 9. Oberteil |
| 4. Achse mit Achsenträger | 10. Unterteil |
| 5. Führungsleiste mit Messingschraube | 11. Halteschiene mit eingelassenem Rundstab |
| 6. Hebel | 12. Grundplatte |

Ausführung der Zerreißprüfung

Während der Vorversuche fand ich, daß sich die unteren Nagezähne der Ratten am besten eigneten für die Zerreißprüfung. Die unteren Incisivi stellen nämlich im Gegensatz zu den oberen einen kleineren Abschnitt eines größeren Kreises dar.

Die Nagezähne mit dem Unterkiefer wurden von allen Gewebsresten vorsichtig gesäubert, um keine Verletzung an Zahn oder Kiefer aufkommen zu lassen. Dann wurden die Nagezahnwurzeln samt der Unterkieferhälfte mittels einer Form in schnellhärtenden Kunststoff eingebettet. Es wurde darauf geachtet, daß die gesamte Krone und der Zahnhalbs des Nagezahnes nicht mit dem Kunststoff in Berührung kamen. Die während der Erhärtung des Kunststoffes sich entwickelnde Wärme spielt hier keine Rolle. Danach wurden die Proben planparallel geschnitten, um beim Einspannen in den Halteapparat eine Kippung zu vermeiden. Die Zähne wurden dann sofort untersucht, um jede Veränderung (Austrocknung usw.) auszuschalten. Bei sämtlichen Zähnen wurde die Abweichung in linguolabialer Richtung geprüft. Die Spitze des Druckstiftes wurde immer an die gleiche Stelle der lingualen Seite aufgesetzt, und zwar an der durch die Kau-

arbeit entstandenen Einbuchtung im Dentin. Das Gewicht von Druck-
holzen und Stift (240 g) wurde ausgeglichen durch das Aufsetzen
der Meßuhr auf den Meßhebel. Da der Meßhebel eine Übersetzung 1 : 10
besitzt, benötigt man also zum Ausgleich die Kraft von 24 g. Erst
durch das Auflegen des Hebelarmes wurde die erste Kraft, und zwar
die von 100 g, auf den Zahn ausgeübt. Danach wurde der Zahn durch
langsameres Auflegen von Gewichten immer mehr belastet, bis es zum
Bruch kam. Es wurde genau darauf geachtet, daß bei sämtlichen
Gruppen die gleichen Bedingungen herrschten.

Folgende Fehlerquellen konnte ich während und nach der Durchfüh-
rung der Versuche erkennen:

1. Ungenauigkeiten bei der Übertragung durch den Meßhebel.
2. Ablesefehler infolge plötzlichen Bruches.
3. Die zum Bruch des Zahnes führende Kraft konnte nicht genau fest-
gestellt werden. Alle angegebenen Werte liegen über dem tatsäch-
lichen Wert.
4. Ungenauigkeiten beim Auflegen der Gewichte.
5. Geringes Abrutschen der Druckspitze von dem vorher bestimmten
Punkt.
6. Elastizität des Kunststoffes.
7. Eindringen der Druckspitze in das Dentin.
8. Gewisse Beweglichkeit der Nagezahnwurzel im Kiefer, bedingt
durch ein Häutchen, welches das Schmelzorgan der permanent
wachsenden Nagezähne darstellt.
9. Verschiedene Längen der Incisivi; die Fluortiere hatten wesent-
lich stärker abgenutzte Nagezähne.

d) Ergebnisse des Wachstums bei Fluorverabreichung

Durchschnittliches Gewicht der Ratten der ersten Versuchsreihe:

	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Bemerkung
männliche Tiere	336 $\bar{g}^{+10,5}$ (4 ♂)	315 $\bar{g}^{+8,6}$ (4 ♂)	238 $\bar{g}^{+15,8}$ (4 ♂)	Zwischen Gruppe I und Gruppe II besteht kein Unterschied. Zwischen Gruppe II und Gruppe III besteht ein statistisch gesicherter Unterschied.
				Zwischen Gruppe I und Gruppe III besteht ein statistisch gesicherter Unterschied.
weibliche Tiere	241 $\bar{g}^{+10,3}$ (11 ♀)	211 $\bar{g}^{+4,9}$ (12 ♀)	176 $\bar{g}^{+7,4}$ (10 ♀)	Zwischen Gruppe I und Gruppe II besteht ein auffälliger Unterschied. Zwischen Gruppe II und Gruppe III besteht ein statistisch gesicherter Unterschied. Zwischen Gruppe I und Gruppe III besteht ein statistisch gesicherter Unterschied.

Tabelle 2

Durchschnittliches Gewicht der Ratten der zweiten Versuchsreihe:

	Gruppe Ia	Gruppe IIa	Gruppe IIIa	Bemerkung
männliche Tiere	385 $g^{+14,9}$ (7 ♂)	316 $g^{+11,0}$ (7 ♂)	209 $g^{+9,2}$ (8 ♂)	Zwischen Gruppe Ia und Gruppe IIa besteht ein statistisch gesicherter Unterschied. Zwischen Gruppe IIa und Gruppe IIIa besteht ein statistisch gesicherter Unterschied. Zwischen Gruppe Ia und Gruppe IIIa besteht ein statistisch gesicherter Unterschied.
weibliche Tiere	259 $g^{+13,5}$ (7 ♀)	217 $g^{+7,5}$ (7 ♀)	150 $g^{+5,3}$ (7 ♀)	Zwischen Gruppe Ia und Gruppe IIa besteht ein auffälliger Unterschied. Zwischen Gruppe IIa und Gruppe IIIa besteht ein statistisch gesicherter Unterschied. Zwischen Gruppe Ia und Gruppe IIIa besteht ein statistisch gesicherter Unterschied.

Tabelle 3

Erläuterung zu Tabelle 2:

Die männlichen Tiere sind wesentlich schwerer als die weiblichen. Zwischen Gruppe I und Gruppe II konnte man makroskopisch nichts Auffälliges feststellen. Bei Gruppe III sah man allerdings eine signifikante Wachstumshemmung. Aus der Tabelle 2 ist ein deutlicher Unterschied zwischen Gruppe II und Gruppe III zu ersehen, der auch statistisch gesichert ist. Zwischen Gruppe I und Gruppe II besteht jedoch kein statistisch erwiesener Unterschied. Das durchschnittliche Gewicht der Gruppe III liegt um 28 % unter dem der Gruppe I.

Erläuterung zu Tabelle 3:

Gruppe IIa ist im Verhältnis zu Gruppe Ia etwas im Wachstum zurückgeblieben. Dagegen war ein ganz signifikanter Unterschied zwischen Gruppe Ia und Gruppe IIIa festzustellen. Gruppe IIIa war offensichtlich stark im Wachstum gehemmt. Der starke Gewichtsunterschied, der zwischen der Gruppe IIa und IIIa besteht, fällt ins Auge. Die Gewichtsabnahme der Gruppe IIIa gegenüber der Gruppe Ia beträgt 45 %. Trotzdem sah man äußerlich keine Beeinträchtigung der Gesundheit.

e) Makroskopischer Vergleich der Zähne der drei Gruppen:

Der Nagezahn der Ratte besitzt, wie bereits schon erwähnt, nur an der labialen Fläche Schmelz. Die Farbe des Schmelzes bzw. des Schmelzoberhäutchens ist ein sattes, glänzendes gelb-orange. Bei Gruppe II (500 ppm NaF) haben wir das typische Bild des "mottled enamel" mit einigen Schmelzläsionen. Diese Läsionen sind am Rand dunkel verfärbt. Ein grünspanähnlicher Belag kommt besonders häufig in Nähe des Zahnfleischsaumes vor. Die Farbe des Schmelzes ist nun etwas bräunlich, besitzt aber nicht mehr diese leuchtende Kraft wie bei Gruppe I. Bei Gruppe III (1 000 ppm NaF) sind schon starke Schmelzsprünge und Defekte vorhanden. An vielen Stellen liegt das Dentin frei. Der restliche Schmelz besitzt eine eigenartige Riffelung. Die Farbintensität des Schmelzes ist noch geringer als bei Gruppe II. Am Zahnfleischsaum konnten die gleichen grünspanähnlichen Beläge festgestellt werden wie bei Gruppe II. Bei längerem Verfüttern von Fluor sieht man eine deutliche Tendenz für übermässiges Wachstum der oberen Incisivi und eine excessive Abnutzung der unteren Nagezähne. S m i t h und L a n t z sind der Meinung, dass die Schwere des Defektes proportional der verfütterten Fluormenge ist.

Dagegen konnte kein Unterschied an den Molaren der drei Gruppen wahrgenommen werden. D i x o n, C o x, M a t u s c h a k und W a l k e r (7) erzeugten gesprenkelten Schmelz an Rattenmolaren durch tägliches Verfüttern relativ hoher Dosen Fluor an säugende Ratten von Geburt an. Die beiden ersten Molaren, die normalerweise mit 21 Tagen durchbrechen, wurden davon betroffen. Die dritten Molaren, die wesentlich später durchbrechen, waren offensichtlich normal. In meiner Versuchsreihe bekamen die Gruppen

IIa und IIIa sogar Fluor praenatal, und trotzdem konnte ich keinen gesprenkelten Schmelz wahrnehmen.

Zusammenfassend kann gesagt werden:

1. Als ein Ergebnis der Verfütterung von Natriumfluorid in einer Konzentration von 500 ppm und 1 000 ppm verlieren die Incisoren das Pigment und ihre normale Transparenz.
2. Es kommt zu mehr oder minder starken Schmelzdefekten.
3. Nach längerem Verfüttern von NaF kann man ein excessives Wachstum oder eine anomal starke Abnutzung der Nagezähne feststellen.
4. Man kann keine makroskopischen Veränderungen an den Molaren beobachten.



Abb. 13

komplexe untere Narezzähne
(ca. 100 ppm NaF)



Abb. 14

"mottled enamel" mit
Schmelzdefekten
(500 ppm NaF)



Abb. 15

starke Schmelzdefekte mit
eigenartiger Riffelung des
restlichen Schmelzes
(1 000 ppm NaF)

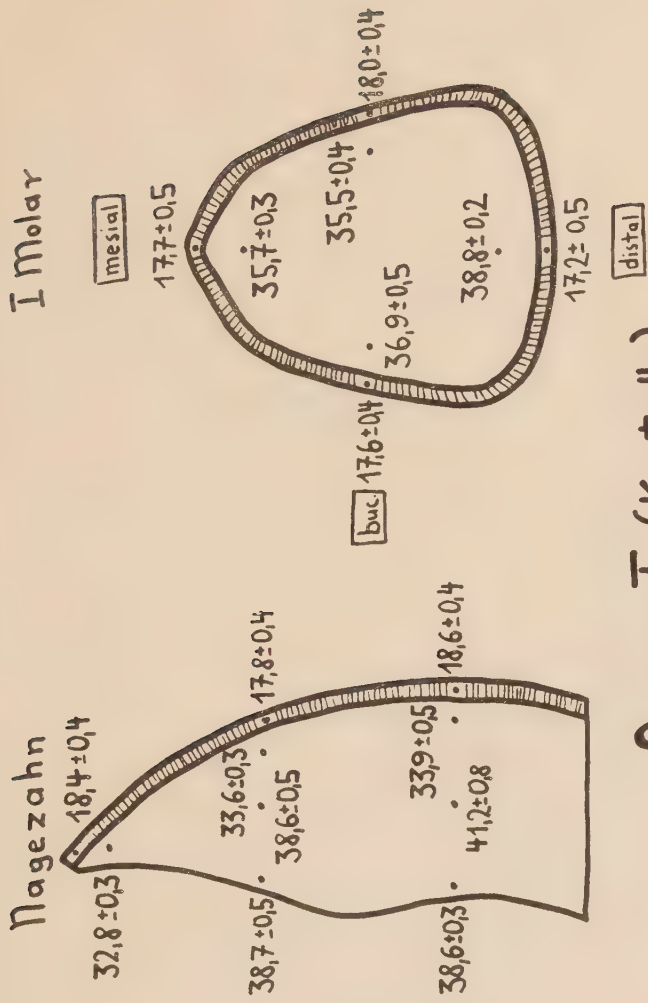


Abb. 16

excessives wachstum, haupt-
sächlich der oberen Incisivi
(1 000 ppm NaF)

f) Ergebnisse der Härteprüfung:

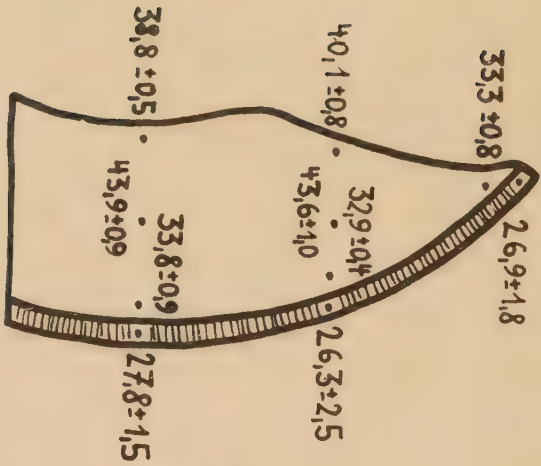
Bevor ich zu den Ergebnissen meiner Härteprüfung komme, möchte ich noch erwähnen, daß meine Untersuchungen relativ sind, d. h. die Ergebnisse der Fluorgruppen beziehe ich auf die der Kontrollgruppen. In der gleichen Reihenfolge, wie ich die Ergebnisse während meiner Untersuchung erhalten habe, will ich sie auch jetzt darlegen, und zwar zuerst die drei Abbildungen mit den eingezeichneten Härtewerten der ersten Versuchsreihe.



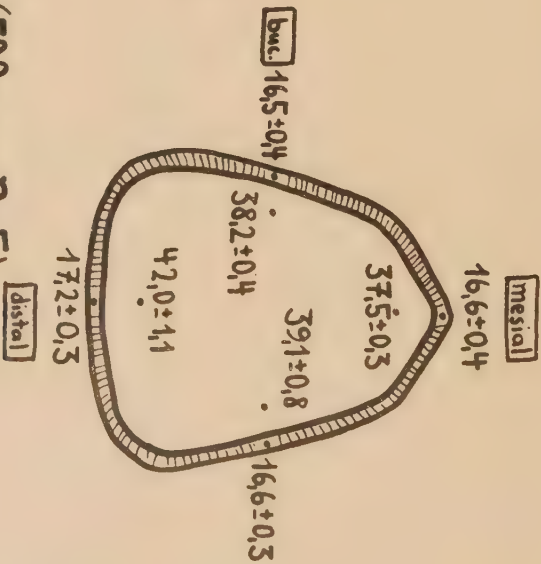
Gruppe I (Kontrolle)

Abb. 6

Наgezahn

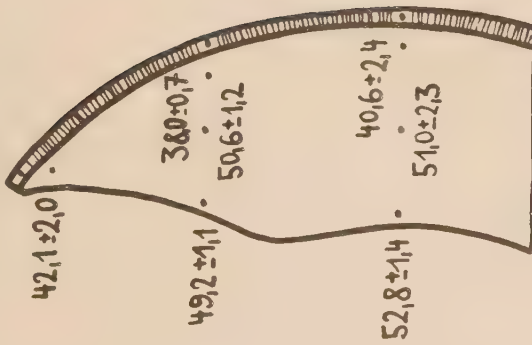


I Molar

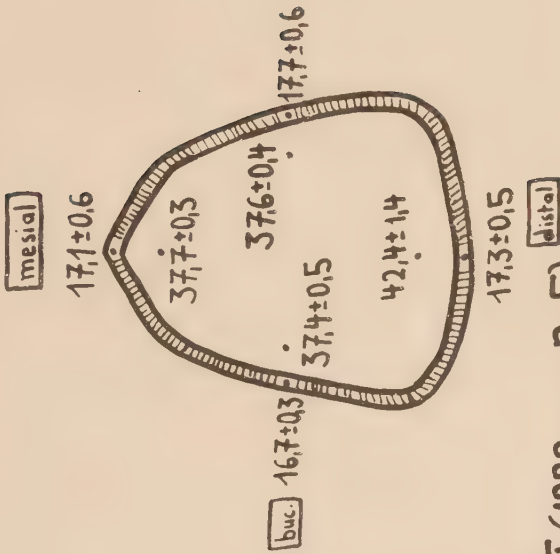


Gruppe II (500 p.p.m. NaF)

Nagezahn



I Molar



Gruppe III (1000 p.p.m. NaF)

Aus den Meßergebnissen der Kontrollgruppe (Gruppe I, Abb. 6) lassen sich folgende allgemeine Schlüsse ziehen:

1. Daß der Schmelz wesentlich härter ist, als das Dentin, und zwar ungefähr viermal härter.

$$HV = \frac{1854 \cdot P}{d^2}$$

$$H_{\text{Schmelz}} = \frac{P}{d_{\text{Schmelz}}^2}$$

$$H_{\text{Dentin}} = \frac{P}{d_{\text{Dentin}}^2}$$

$$\frac{H_S}{H_D} = \frac{d_D^2}{d_S^2}$$

$$\frac{H_S}{H_D} = \frac{d_D^2}{d_S^2}$$

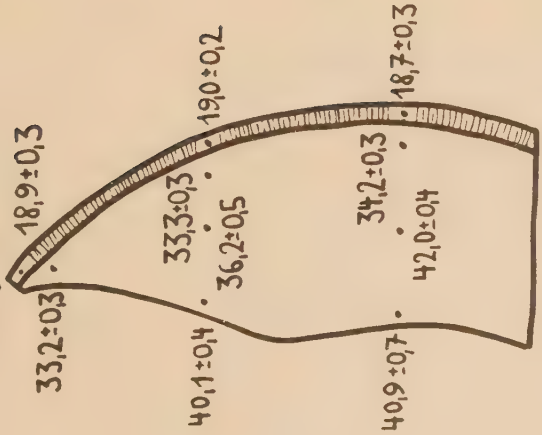
$$H_S : H_D = \frac{36,7}{18,2} \quad 4 : 1$$

2. Das Dentin an den Nagezahnspitzen ist am härtesten; die Härte des Dentins nimmt von der Spitze zur Wurzel hin ab. Die Stellen der geringsten Härte liegen, wie zu erwarten war, in Nähe der Pulpa.

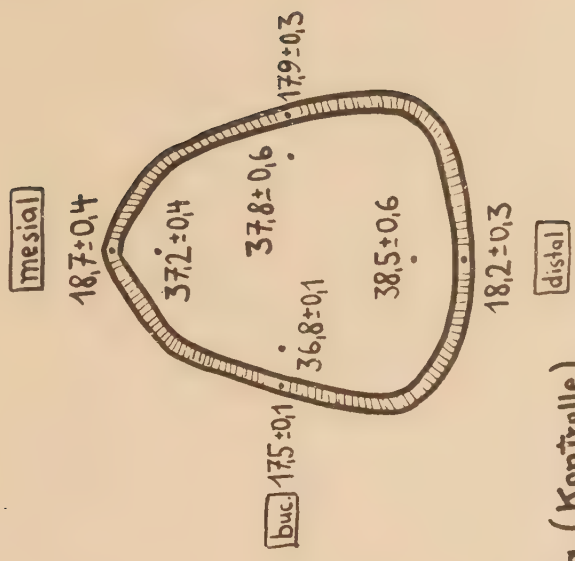
Die Ergebnisse der Gruppen II und III bespreche ich im Anschluß an Tabelle 3 .

Nun folgen die Meßergebnisse der zweiten Versuchsreihe (1. Generation)) :

Нagezahn



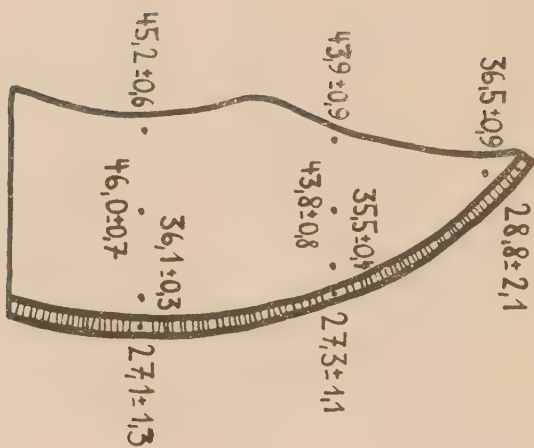
I Molar



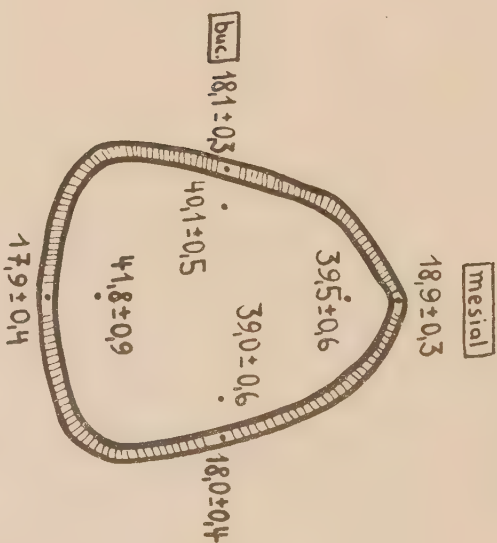
Gruppe Ia (Kontrolle)

010. 12

Magezahn



I Molar

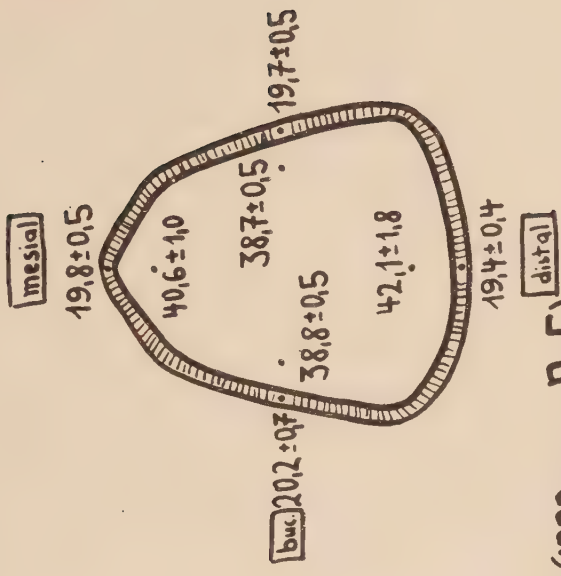
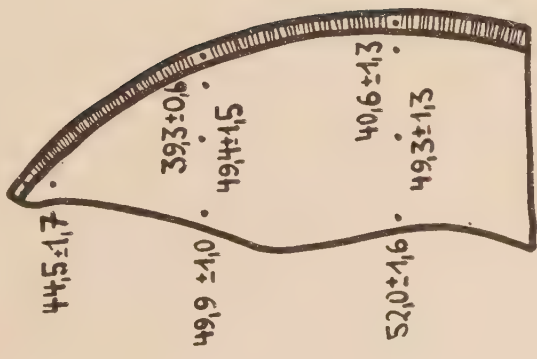


Gruppe IIa (500 p.p.m. NaF)

distal

Nagezahn

I molar



Gruppe III a (1000 p.p.m. NaF)

An den Nagezähnen der Gruppe IIIa (Abb. 11) war der Schmelz wie bei Gruppe III (Abb. 8) abgebröckelt, eine Härtemessung war deshalb unmöglich. Im großen und ganzen entsprechen die Ergebnisse der Kontrollgruppe der 1. Generation denen der Kontrollgruppe der Elterntiere, (siehe Abb. 9 und 6). Auf Grund dieser Feststellung kann man folgern, daß die verschiedenen Gruppen unter gleichen Bedingungen untersucht wurden und somit Vergleiche untereinander zulassen.

Um die Vergleiche zu erleichtern, habe ich aus den 7 Meßwerten des Dentins und den 3 des Schmelzes einer Gruppe den Durchschnittswert errechnet. Diese 4 Werte je Gruppe sind das Ergebnis einer mühevollen Arbeit. Die daraus resultierenden zwei Tabellen bilden den Kern meiner Untersuchungen.

Nagezahn	Untersuchte Zahnhartsubstanz			Bemerkung
	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	
Schmelz	18,2 ⁺⁰ ,3	27,0 ⁺⁰ ,4	-	Zwischen Gruppe I und Gruppe II besteht ein statistisch gesicherter Unterschied.
Dentin	36,7 ⁺¹ ,2	38,0 ⁺¹ ,8	46,3 ⁺² ,2	Zwischen Gruppe I und Gruppe II besteht kein Unterschied. Zwischen Gruppe II und Gruppe III besteht ein auffälliger Unterschied, Zwischen Gruppe I und Gruppe III besteht ein statistisch gesicherter Unterschied.
1. Molar	Untersuchte Zahnhartsubstanz			Bemerkung
	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	
Schmelz	17,6 ⁺⁰ ,1	16,7 ⁺⁰ ,1	17,2 ⁺⁰ ,2	Zwischen Gruppe I und Gruppe II besteht ein statistisch gesicherter Unterschied. Zwischen Gruppe II und Gruppe III besteht ein auffälliger Unterschied. Zwischen Gruppe I und Gruppe III besteht kein Unterschied.
Dentin	36,7 ⁺⁰ ,7	39,0 ⁺¹ ,0	38,7 ⁺¹ ,2	Zwischen Gruppe I und Gruppe II besteht kein Unterschied. Zwischen Gruppe II und Gruppe III besteht kein Unterschied. Zwischen Gruppe I und Gruppe III besteht kein Unterschied.

Tabelle 5

Nagezahn	Untersuchte Zahnhartsubstanz			Bemerkung
	Gruppe Ia	Gruppe IIa	Gruppe IIIa	
Schmelz	$18,8^{+0,1}$	$27,7^{+0,3}$	-	Zwischen Gruppe Ia und Gruppe IIa besteht ein statistisch gesicherter Unterschied.
Dentin	$37,1^{+1,4}$	$41,0^{+1,7}$	$46,4^{+2,0}$	Zwischen Gruppe Ia und Gruppe IIa besteht kein Unterschied. Zwischen Gruppe IIa und Gruppe IIIa besteht ein auffälliger Unterschied.
1. Molar	Untersuchte Zahnhartsubstanz Gruppe Ia Gruppe IIa Gruppe IIIa			Bemerkung
Schmelz	$18,0^{+0,2}$	$18,2^{+0,2}$	$19,7^{+0,1}$	Zwischen Gruppe Ia und Gruppe IIa besteht kein Unterschied. Zwischen Gruppe IIa und Gruppe IIIa besteht ein statistisch gesicherter Unterschied.
Dentin	$37,5^{+0,3}$	$40,1^{+0,6}$	$40,1^{+0,8}$	Zwischen Gruppe Ia und Gruppe IIIa besteht ein statistisch gesicherter Unterschied. Zwischen Gruppe Ia und Gruppe IIa besteht ein statistisch gesicherter Unterschied. Zwischen Gruppe IIa und Gruppe IIIa besteht kein Unterschied. Zwischen Gruppe Ia und Gruppe IIIa besteht ein statistisch gesicherter Unterschied.

1. Versuchsreihe (Elterntiere)

Nagezahn:

Das Wichtigste der Kontrollgruppe habe ich im Anschluß an die Bilder der Härtemessung besprochen (Seite 40). Der Schmelz der Gruppe II ist wesentlich weicher als bei der Kontrollgruppe. Ein Unterschied in der Härte des Dentins besteht nicht zwischen der Kontrollgruppe und der 500 ppm - Gruppe. Eine auffällige Härteabnahme des Dentins ist zwischen der Gruppe II und der Gruppe III nicht bemerkbar, dagegen ist ein gewaltiger Härteabfall zwischen der Gruppe I (Kontrollgruppe) und der Gruppe III (1 000 ppm) festzustellen.

Am Nagezahn hat die Fluorverfütterung in toxischen Dosen nur zu einer Verringerung der Härte von Schmelz und Dentin geführt.

Molar:

Bei der 500 ppm - Gruppe konnte ich eine Zunahme der Härte des Schmelzes gegenüber der Kontrollgruppe beobachten. Dagegen kam es bei der 1 000 ppm - Gruppe wieder zu einer Abnahme der Schmelzhärte gegenüber der Gruppe II. Der Härtewert des Schmelzes der Gruppe III ist ungefähr gleich dem der Kontrollgruppe. Die Härte des Dentins der zwei Fluorgruppen hatte sich nicht verändert gegenüber der Kontrollgruppe.

Am Molaren bewirkten die Fluorgaben eine Härtezunahme des Schmelzes, aber nur bei einer Konzentration von 0,05 % . An der Härte des Dentins änderte sich nichts.

2. Versuchsreihe (erste Generation)

Nagezahn:

Die Härte des Schmelzes der Gruppe IIa ist genau wie bei der ersten Versuchsreihe im gleichen Wert gefallen. Die Härte des Schmelzes der Gruppe IIIa konnte gar nicht bestimmt werden, da er allein schon durch die Bearbeitung abbröckelte. Beim Dentin besteht kein Härteunterschied zwischen der Gruppe IIa (500 ppm) und Gruppe Ia (Kontrollgruppe). Eine auffällige Härteverminderung fand ich bei Gruppe IIIa (1 000 ppm) gegenüber der Gruppe IIa und einen statistisch gesicherten Unterschied gegenüber der Kontrollgruppe.

Ich bekam bei dieser Versuchsreihe genau die gleichen Ergebnisse wie bei der ersten Versuchsreihe. Die Fluormedikation bewirkte fast ausschließlich eine Herabsetzung der Härte.

Molar:

Am Schmelz der Molaren war keine Veränderung der Härte festzustellen bei einer Konzentration von 500 ppm (Gruppe IIa). Jedoch besteht ein statistischer Unterschied zwischen der Gruppe IIIa und der Gruppe IIa. Das heißt, daß es bei einer Fluorkonzentration von 0,1 % zu einem Weicherwerden des Schmelzes kommt. Das Dentin der Gruppe IIa ist ganz beträchtlich weicher als das der Kontrollgruppe (Ia). Auffallenderweise besteht kein Unterschied zwischen der Gruppe IIIa und IIa. Dagegen ist im Vergleich das Dentin der Gruppe IIIa wesentlich weicher als das der Kontrollgruppe.

Auch am Molaren bewirkte das Fluor nur eine Herabsetzung der Härte, beim Schmelz erst bei 0,1 % NaF und beim Dentin schon bei 0,05 % NaF. Jedoch wurde das Dentin bei 1 000 ppm nicht mehr weicher.

g) Ergebnisse der Zerreißprüfung:

1. Versuchsreihe

2. Versuchsreihe

	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe Ia	Gruppe IIa	Gruppe IIIa
Belastung	4613 g	2836 g	2763 g	3700 g	3040 g	2050 g
Abweichung	0,299 mm	0,375 mm	0,450 mm	0,293 mm	0,357 mm	0,366 mm

Tabelle 6

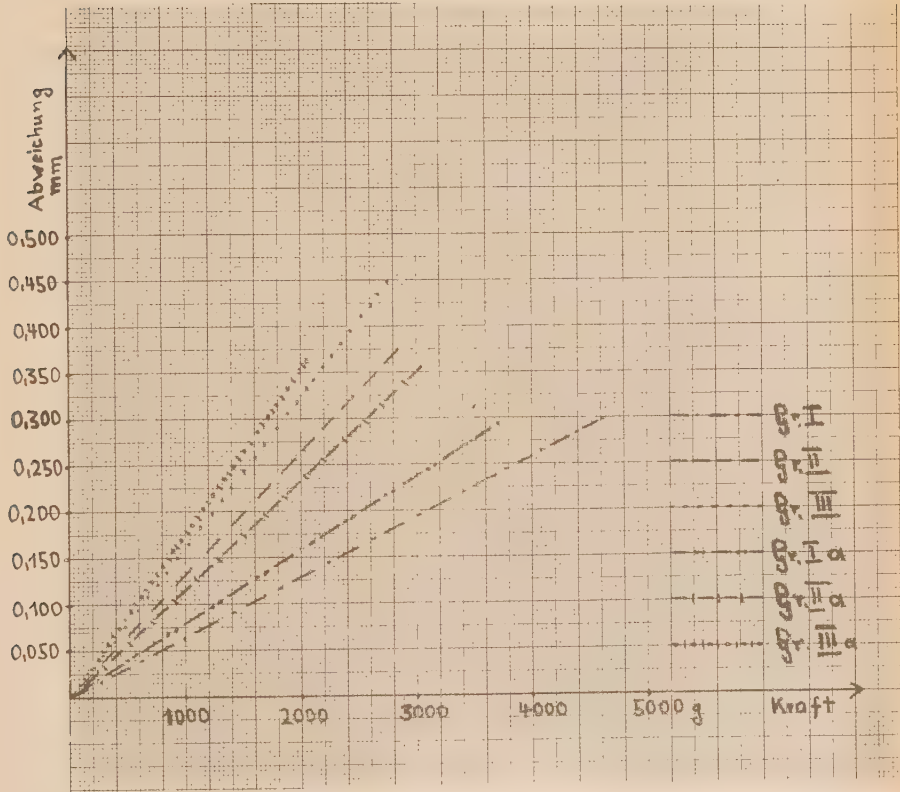


Abb. 12

Wie man aus der Tabelle 6 entnehmen kann, ist die Widerstandskraft der Nagezähne der Gruppe I am stärksten. Sie hielten einer durchschnittlichen Belastung oder besser gesagt, einer Krafteinwirkung von 4 613 g stand, ehe es zum Bruch kam. Die Abweichung, die die Incisivi erfuhren, betrug im Durchschnitt 0,299 mm. Bei Gruppe II ist die Widerstandskraft wesentlich geringer. Bei 2 836 g brachen die Incisivi und zeigten dabei eine Abweichung von 0,375 mm. Eine Belastung von 2 763 g hielten die Zähne der Gruppe III gerade noch aus, bei einer Abweichung von 0,450 mm. Die Ergebnisse der zweiten Versuchsreihe entsprechen ungefähr denen der ersten.

h) Diskussion der Ergebnisse der Härteprüfung:

Vergleich von Nagezahn und Molar der 1. Versuchsreihe (Elterntiere)

Ein augenfälliger Unterschied war zwischen dem Nagezahn- und Molarenschmelz der Gruppe II auszumachen. Während der Schmelz des Molaren eine Härtung erfahren hatte, war beim Nagezahn eine gewaltige Härteabnahme zu verzeichnen. Wie ist das zu erklären?

Die Nagezähne der Ratte haben eine offene Wurzel, d. h. es kommt zu keinem Abschluß des Wurzelwachstums. Dagegen wird bei den Molaren der Ratte nach einer bestimmten Zeit ein foramen apicale gebildet und damit ein Schluß des Wurzelwachstums bewirkt. Fluorsalze werden im Magen-Darmtrakt resorbiert und den in Bildung begriffenen Hartgeweben durch den Stoffwechsel zugeführt. Aber nach Abschluß des Wachstums wird wenig oder gar kein Fluor mehr in den Hartsubstanzen gespeichert. Nun ist verständlich, warum es zu einer Härteabnahme des Nagezahnschmelzes kam. Ich glaube nicht, daß die Härtezunahme des Molarenschmelzes der Gruppe II über den Stoffwechsel erfolgt ist. Meiner Ansicht nach bleibt nur eine Erklärung sinnvoll: Der laufende Kontakt der Molaren mit dem Speisebrei, in dem das Natriumfluorid enthalten war, und die ständige Umspülung mit fluorhaltigem Speichel während der 117 Tage des Versuches bewirkte eine Härtung des Schmelzes.

Ferner besteht ein ins Auge springender Unterschied beim Dentin der Gruppe III. Das Dentin des Nagezahnes der Gruppe III ist ganz erheblich weicher als das der Molaren.

Auch hier ist die Erklärung im permanenten Wachstum der Nagezähne und im abgeschlossenen Wachstum der Molaren zu suchen. Da die Gruppe III 0,1 % NaF erhielt, dürfte eine größere Toxizität vorliegen als bei Gruppe II (0,05 % NaF), was sich auch in der Dentin-

härte des Nagezahnes nachweisen läßt.

Vergleich von Nagezahn und Molar der 2. Versuchsreihe (1. Generation)

Während sich die Härte des Molarenschmelzes bei 500 ppm NaF nicht veränderte, zeigte der Nagezahnschmelz eine ganz deutliche Härteabnahme. Der Nagezahnschmelz ist hier viel länger den Fluoriden ausgesetzt als der Molarenschmelz, da er ja laufend neu gebildet wird.

Das Dentin von Nagezahn und Molar hat durch die Fluormedikation eine Härteänderung erfahren, das Dentin des Nagezahnes allerdings erst bei 0,1 % NaF, während das Dentin des Molaren schon bei 0,05 % NaF eine Herabsetzung der Härte anzeigte.

Der Leser ist hier der Meinung, auf eine Unstimmigkeit zu stoßen. Die Toxizität von 0,05 % NaF reicht eben hier nicht aus, um einen signifikanten Unterschied beim Dentin des Nagezahnes auftreten zu lassen. Nach L a n g (18) liegt der toxische Bereich über 190 ppm NaF. Die Toxizität ist aber noch von mehreren Faktoren, wie z. B. vom Tierstamm, Futter, Wasser usw. abhängig.

Vergleich der zwei Versuchsreihen

Schmelz und Dentin des Nagezahnes beider Versuchsreihen zeigen keinerlei Unterschied. Es ist geradezu frappierend, wie die Härtewerte jeder Gruppe der ersten Versuchsreihe mit denen der entsprechenden Gruppe der zweiten Versuchsreihe übereinstimmen. Die Gruppe IIa und IIIa hatte Fluor bereits prae natal erhalten, also zu einem Zeitpunkt, wo das Hartgewebe besonders empfindlich ist. Auch hier ist die Erklärung im permanenten Wachstum der Incisivi zu suchen. Da die Nagezähne dauernd abgekaut werden, muß es zu einer Neubildung der verlorenen Substanz kommen. Der Wachstumsschub erfolgt vom Keimzentrum am Ende der Wurzel her, das ungefähr in Höhe der dritten Molaren liegt. Da also die Zahnhartsub-

stanzen laufend gebildet werden, ist es auch verständlich, warum in der ersten Versuchsreihe eine so starke Abnahme der Schmelzhärte stattgefunden und zu einem Abbröckeln des Schmelzes geführt hat. Das im Verkalkungsprozeß steckende jugendliche Gewebe ist bei beiden Versuchsreihen vorhanden und reagiert in gleicher Weise auf die Fluorzufuhr, nämlich durch eine schlechtere Mineralisation. Beim Molarenschmelz der ersten Versuchsreihe war eine Härtezunahme bei Fluorzufuhr unverkennbar. Bei der zweiten Versuchsreihe zeigte der Schmelz eine Abnahme der Härte.

Die Abnahme der Härte des Molarenschmelzes der zweiten Versuchsreihe kann man mit der praenatalen Fluormedikation erklären. Die Zunahme der Härte des Molarenschmelzes der ersten Versuchsreihe kann man als exogene Schmelzhärtung auffassen.

Die Härte des Molarendentins der ersten Versuchsreihe blieb unverändert, dagegen war bei der zweiten Versuchsreihe eine Härteabnahme zu verzeichnen.

wie ist nun das verschiedenartige Verhalten des Molarendentins der ersten und zweiten Versuchsreihe zu erklären? Bei der ersten Versuchsreihe begann die Fluorverfütterung erst, als die Tiere zwei Monate alt waren. In dem Kapitel "Anatomie des Zahnsystems der Ratte" habe ich die Durchbruchszeiten der einzelnen Molaren erwähnt. Als letzte Zähne der Ratte brechen die dritten Molaren durch, der obere Molar nach 38 Tagen und der untere nach 29 Tagen. Zu meinen Untersuchungen habe ich aber immer den ersten oberen Molaren benutzt, der bereits mit 18 Tagen durchbricht. Man kann ohne weiteres damit rechnen, daß das Wurzelwachstum des ersten oberen Molaren nach zwei Monaten abgeschlossen und somit die Mineralisation beendet ist. Bereits fixierte Mineralien, wie das beim Dentin der Molaren der ersten Versuchsreihe der Fall ist, können

schlecht oder gar nicht mehr mobilisiert werden, im Gegensatz zum Nagezahn, bei dem laufend ein Neuaufbau von Mineralien stattfindet.

Die Tiere der Gruppe IIa und IIIa (1. Generation) bekamen Fluor schon praenatal über den Kreislauf des Muttertieres und während der Laktation durch die Muttermilch. Speziell für die Molaren bedeutet dies, daß sie auch praenatal, während der Laktation und postnatal bis zum Abschluß des Wurzelwachstums Fluorsalze über den Stoffwechsel erhielten. Die Folge war eine schlechte Mineralisation und somit Abnahme der Härte des Dentins und des Schmelzes.

Diskussion der Ergebnisse der Zerreißprüfung:

Die Zerreißfestigkeit der Nagezähne nimmt mit zunehmender Fluorkonzentration ab. Auf Grund der bei den Härtemessungen gewonnenen Ergebnisse überrascht diese Tatsache gar nicht. Durch die Fluorzufuhr ist der Schmelz sehr stark geschädigt worden. Sprünge und große Defekte unterbrechen die Kontinuität des Schmelzes und nehmen dem Zahn seine Versteifung. Dieser Schmelz ist nicht mehr in der Lage, einer Krafteinwirkung zu widerstehen. Wie aus den Ergebnissen der Härteprüfung hervorgeht, ist auch das Dentin der Nagezähne bei der höheren Fluorkonzentration geschädigt. Schmelz und Dentin haben also von ihrer Widerstandskraft eingebüßt, Man kommt zu folgendem Schluß: Bei abnehmender Krafteinwirkung kommt es zu einem Zunehmen der Abweichung.

Infolge vieler Fehlerquellen, die ich auf Seite 33 aufgezählt habe, möchte ich die eben besprochenen Ergebnisse nur zur Unterstützung der bei der Härteprüfung gewonnenen Ergebnisse heranziehen.

Zusammenfassung:

An 2 Versuchsreihen Albino-Ratten wurden toxische NaF-Dosen in Höhe von 500 ppm und 1000 ppm verfüttert. Die erste Versuchsreihe erhielt das NaF erst postnatal im Alter von 2 Monaten, während die zweite Versuchsreihe das NaF bereits praenatal und während der Laktation erhielt. Das Grundfutter bestand aus der von H e r r - m a n n und R o z e i k modifizierten Normalkost nach S h a w. Die Versuchsdauer erstreckte sich auf 117 Tage.

Das Gewicht der mit NaF gefütterten Tiere lag grösstenteils weit unter dem der Kontrolltiere. Trotzdem sah man äusserlich keine Beeinträchtigung der Gesundheit.

Weiterhin bewirkte die Verfütterung von NaF eine Veränderung der Farbe, Verlust der Transparenz, ein excessives Wachstum oder eine anormal starke Abnutzung der Nagezähne. Die Molaren wiesen keinerlei derartige Veränderungen auf.

Die Härteprüfung von Schmelz und Dentin der Fluortiere, vorgenommen mit dem Mikrohärteprüfer "Durimet", zeigte meistens eine Abnahme der Zahnhärte. Das unterschiedliche Verhalten von Nagezahn und Molar ist auf die anatomische und physiologische Verschiedenartigkeit dieser zwei Zahngruppen zurückzuführen.

Die mit der Voigt'schen Hebelpresse durchgeführte Zerreiissprüfung brachte ebenfalls eine Abnahme der Zerreiissfestigkeit der Nagezähne.

Im grossen und ganzen kann man nach Verfütterung von toxischen Fluordosen folgendes feststellen:

1. Abnahme der Zahnhärte,
2. Abnahme der Zerreiissfestigkeit,
3. Gewichtsverlust.

5. Literaturverzeichnis

1. B l u m e , B.: Kleinhärteprüfer "Durimet" von Leitz, Wetzlar;
Diss. Bonn, 1954
2. B o r n , J.: Untersuchungen menschlicher und tierischer Zähne mit Hilfe des Ritzverfahrens zur Feststellung ihrer Härte u. strukturellen Aufbaues.
Diss. Bonn, 1938
3. B r i n c h , O.: Pathologische Veränderungen in Zähnen und Kieferknochen von experiment. fluorvergifteten Versuchstieren.
Zeitschrift für Stomatologie 35 : 890, 1937
4. B ü t t n e r , W.: zitiert nach Rozeik (30).
5. C r e m e r , H. D.: zitiert nach Harndt (11).
6. D e m o l e e t H e l d , A. J.: Toxicologie du Fluor
Schweiz. Monatsschrift für Zahnheilkunde
65,8, 1955
7. D i x o n , C o x , M a t u s c h a k and W a l k e r :
Preferential mottling of the Enamel of Rat
Molars.
Proc. Soc. Experiment. Biol. Med. 42.236, 1939
8. E g g e r s - L u r a : zitiert nach Knappwost
9. F e l l e n b e r g : zitiert nach Münch
10. F o r s c h n e r , H.: Die organische Struktur des Schmelzes
beim Rattenzahn.
Diss. Mainz, 1952
11. H a r n d t , E.: Die Bedeutung der Schmelzstruktur in der
Cariesprophylaxe.
DZZ 1955, 10 Jg, H. 12
12. H e l d , A. J., G a s s e t , E.: Pulpa- u. Dentinschädigung
durch Fluorintoxikation bei erwachsenen Meer-
schweinchen.
DZZ 1952, 7 Jg, H. 8
13. H o f f m a n n , S c h u c k and F u r u t a : Histologie
Study on the Effects of Fluorine administered
in dry and moist Diets on Teeth of young Albino
Rats.
Journal of Dental Research 21. 157. 1924
14. K a n t o r o w i c s : Epidemiologie der Caries in Deutschland.
DZZ 1955, 10 Jg, H. 5
15. K e s s l e r : zitiert nach Schmitz (33).

16. K n a p p w o s t , A.: Grundlagen der Resistenztheorie der Caries mit einem Beitrag über die carieshemmende Wirkung peroraler Fluorgaben.
DZZ 1952, 7 Jg, H. 12
17. K n a p p w o s t , S c h u b e r t : zitiert nach Harndt (11).
18. L a n g , K.: Biochemie der Ernährung
Verlag von Dr. Dietrich Steinkopff, Darmstadt, 1957
19. L a n t z , E. M. and S m i t h , M. C.: The effect of fluorine on calcium and phosphorus Metabolism in albino rats.
Americ. Journal of Physiology, 109 : 645, 1934
20. L a w r e n z , M i t c h e l l , R u t h : Adaptation of the growing rat to the ingestion of a constant concentration of fluorine in the diet.
Journal of Nutrition 19 : 531, 1940
21. L e i t z , E.: Anleitung und Regeln für das Arbeiten mit dem Kleinhärteprüfer "Durimet" , Leitz G.m.b.H., Wetzlar.
22. L e i t z , E.: Tabellen zur Bestimmung der Vickershärten, Leitz G.m.b.H., Wetzlar.
23. M i l l e r : zitiert nach Dixon and Cox (7).
24. M o s t y n , H. J.: Chronic Fluorine Intoxication: Effect on Bones and Teeth.
Vet. Medicine 41 : 408, 1946
25. M ü n c h , J.: Fluor und Zähne.
Deutsche Zahn- Mund- u. Kieferheilkunde 25.3. und 4.137, 1956
26. P a l a z z i , S.: Prophylaxe der Caries durch Fluor.
DZZ 1952, 7 Jg, H. 8
27. P o r t - E u l e r : Lehrbuch der Zahnheilkunde
J.F. Bergmann, München, 1951
28. P r o e l l und S c h u b e r t : Die Ritzhärte des Zahnschmelzes.
Zeitschrift für Stomatologie 1928, H. 11
29. R i c h t e r , H.: Über die Ritz- und Kugeldruckhärte der harten Zahnschmelzen ein kritischer Vergleich.
Zeitschrift f. Stomatologie 1931, H. 28
30. R o z e i k , F.: Die Ratte als Versuchstier.
Habilitationsschrift, Mainz, 1958.
31. S a u e r , E.: Messungen der elastischen Deformierbarkeit natürlicher Zähne.
Diss. Mainz 1955

32. S c h m i d t , H. J.: Fluor und Mg, Vitamin C u. a.
DZZ 1954, 9 Jg, H. 1
33. S c h m i t z , W.: Zahnschutzhärtung durch Fluorpinselung
DZZ 1952, 7 Jg, H. 4
34. S c h o u r and S m i t h : Injections of Sodium Fluoride
on Enamel and Dentin of the Incisor of the Rat
Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 32.1.1934
35. S c h u l z , J. A.: Fluorine Toxicosis in the Albino Rat.
Research Bulletin No 247, Ames Iowa, 1938,
Agric. Experiment. Stat.
36. S m i t h , M. C. and L a n t z , E. M.: The effect of the
feeding of fluorides upon the chemical composition
of the teeth and bones of albino rats.
Journal of Biological Chemistry 101 : 677, 1935
37. V o i g t , W.: Experimentelle Untersuchungen zur Erzeugung
von Gitterformationen an Quarzkristallen.
Physikalische Diplomarbeit, Mainz 1952
38. Z i p k i n and M c C l u r e : Caries Reduction and
Retention of Fluorine in the Bones and Teeth
of the white Rat.
Journal of Dental Research 30.4.524, 1951
39. Z i p k i n and M c C l u r e : Deposition of Fluorine
in the Bones and Teeth of the Growing Rat.
Journal of Dental Research 31.4.490, 1952

Am Ende dieser Arbeit danke ich besonders Herrn Professor Dr. Dr. Martin H e r r m a n n für die freundliche Überlassung des Themas und die mir zur Verfügung gestellte Versuchsaapparatur.

Ebenso möchte ich Herrn Privatdozent Dr. F. R o z e i k danken, der mir freundlicherweise bei der Durchführung meiner Arbeit beratend zur Seite stand.

Lebenslauf

Ich, Dieter B i b e r, wurde geboren am 18. 1. 1935 in Laupheim/ Württemberg als Sohn des Kaufmanns Josef Biber und seiner Ehefrau Mathilde, geb. Sigg. Von 1941 bis 1945 besuchte ich die Grundschule. Nach bestandener Aufnahmeprüfung ging ich sechs Jahre lang in die Oberschule für Jungen in Laupheim und legte dort im Sommer 1951 die mittlere Reifeprüfung ab. Danach besuchte ich die Kepler-Oberschule in Ulm/Do. Im Februar 1954 bestand ich die Reifeprüfung. Ich entschloss mich zum Studium der Medizin und wurde im Sommersemester 1954 an der Universität Basel immatrikuliert. Im Wintersemester 1954/55 studierte ich an der Universität Tübingen Zahnheilkunde und legte nach dem Wintersemester 1955/56 die zahnärztliche Vorprüfung ab. Nach dem ersten klinischen Semester wechselte ich an die Johannes Gutenberg-Universität in Mainz. Im Dezember 1958 bestand ich die Zahnärztliche Prüfung.

